

Az ALADIN mezoskálájú korlátos tartományú  
modellen alapuló rövidtávú ensemble  
előrejelzési technika kifejlesztése és operatív  
alkalmazhatóságának vizsgálata

HÁGEL Edit

A doktori értekezés tézisei



Eötvös Loránd Tudományegyetem, Természettudományi Kar  
Földtudományi Doktori Iskola, Földrajz-Meteorológia Doktori Program

Iskolavezető: Dr. Monostori Miklós, egyetemi tanár, MTA doktora

Programvezető: Dr. Gábris Gyula, egyetemi tanár, MTA doktora

Témavezetők:

Dr. Horányi András

Dr. Matyasovszky István, docens

Országos Meteorológiai Szolgálat

Numerikus Modellező és Éghajlat-dinamikai Osztály

2009

## Bevezetés, a munka célkitűzései

Az elmúlt mintegy ötven év során a numerikus előrejelző modellek alkalmazása az időjárás előrejelzésének nélkülözhetetlen részévé vált. A numerikus időjárás-előrejelzés alapja egy parciális differenciálegyenletrendszer (az ún. primitív egyenletrendszer) megoldása. Ez az egyenletrendszer nemlineáris, analitikus megoldása nem létezik. A nemlinearitás miatt a megoldás nagyfokú érzékenységet mutat a kezdeti feltételekre. A kezdeti feltételek minőségének javítására számos módszert dolgoztak ki az adatasszimiláció terén. Figyelembe kell azonban venni, hogy a kezdeti feltételek egzakt megadása nem lehetséges a megfigyelések korlátozott száma, egyenlőtlen földrajzi eloszlása, az elkerülhetetlen megfigyelési hiba, illetve az adatasszimiláció során fellépő, valamint a modellekben rejlő hibák miatt. Ezek eredményeképp mindig lesz bizonyos fokú bizonytalanság a numerikus modellek kezdeti feltételeiben.

A modellek kiindulási állapotának perturbálása révén lehetségessé válik a kezdeti feltételekben rejlő bizonytalanságok figyelembevétele. A különböző kezdeti feltételek mindegyikéből előrejelzést készítve egy valószínűségi (idegen szóval *ensemble*) előrejelző rendszerhez jutunk. A rendszer szórása hasznos információt nyújt az időjárási helyzet előrejelezhetőségéről, és a különböző időjárási események valószínűségéről. Ezáltal nem csupán a légkör jövőbeli állapotát tudjuk előrejelezni, hanem az ehhez az előrejelzéshez kapcsolódó bizonytalanságot is. Az ensemble módszer 1992-es operatív bevezetése óta széles körben elterjedt módszerré vált, különösen a globális előrejelzések terén. Az elmúlt néhány évben azonban intenzív kutatás indult az ensemble technika rövidtávú, korlátos tartományú modellekkel történő alkalmazhatóságának vizsgálatára.

A fent említett kutatások biztató eredményeinek hatására az Országos Meteorológiai Szolgálatnál is megkezdődtek a kutatások, melyek végső célja egy operatív, rövidtávú ensemble előrejelző rendszer bevezetése volt, valamint annak vizsgálata, miként javítható a globális rendszer előrejelzése a korlátos tartományú modell történő dinamikai leskálázás révén. A kísérletek két szálon kezdődtek meg: az ARPEGE EPS rendszer leskálázása az ALADIN modellel (lásd bővebben a továbbiakban), illetve az ECMWF EPS rendszer

leskálázása az ALADIN modellel (további információkért lásd [9]).

Doktori dolgozatomban célja egy rövidtávú, korlátos tartományú valószínűségi (ensemble) előrejelző rendszer kifejlesztése, vizsgálata, végül pedig operatív alkalmazása volt. Munkám során a globális ARPEGE, és a korlátos tartományú ALADIN modellel végeztem kísérleteket. A dolgozatban bemutatott munka három fő részre osztható: (i) érzékenységi vizsgálatok végzése globális szinguláris vektorokkal, (ii) kísérletek kezdése korlátos tartományú szinguláris vektorokkal, ill. (iii) egy rövidtávú ensemble előrejelző rendszer kifejlesztése, (kvázi-) operatív futtatása, és verifikációs eredményeinek vizsgálata.

## Az alkalmazott módszerek

Ensemble előrejelzések készítésének egy lehetséges módja szinguláris vektorok számítása a kezdeti feltételek perturbálása érdekében. A szinguláris vektorok módszerének lényege megtalálni a leggyorsabban növekvő perturbációkat egy adott időszakra (*optimalizálási idő*), földrajzi térségre (*optimalizálási tartomány*), valamint egy előre definiált normára vonatkozóan ([1]). A szinguláris vektorok módszerét sikerrel alkalmazzák operatív ensemble rendszerekben, különösen a globális skálákon.

A doktori munka első lépéseként érzékenységi vizsgálatokat végeztem annak érdekében, hogy megállapítsam, az *optimalizálási tartomány* és *optimalizálási idő* alkalmas megválasztásával lehetséges-e a globális ARPEGE EPS rendszer (PEARP, Prévision d'Ensemble ARPege) optimalizálása Közép-Európa térségére vonatkozóan. Ennek érdekében számos optimalizálási tartományt és időt definiáltam, és vizsgáltam esettanulmányok és hosszabb-rövidebb teszt-időszakok keretében ([4], [6], [8], [2] and [5]). A globális ensemble előrejelzéseket az ARPEGE modellel készítettem, melyeket azután a korlátos tartományú ALADIN modellel skáláztam le.

Az érzékenységi vizsgálatok eredményeiből azt a következtetést vontam le, hogy szükség van helyi perturbációk származtatására a korlátos tartományú modellel annak érdekében, hogy figyelembe tudjuk venni a kis skálájú bizonytalanságokat is. A munka következő lépéseként tehát megkezdtem a ki-

sérleteket korlátozott tartományú szinguláris vektorok számításával az ALADIN modellel ([3]).

A fentiekben ismertetett kísérletekkel párhuzamosan kifejlesztettem, és kvázi-operatív alkalmazásba helyeztem egy, a PEARP globális ensemble rendszer leskálázásán alapuló rövidtávú valószínűségi előrejelző rendszert annak érdekében, hogy ne csupán esettanulmányokra, illetve hosszabb-rövidebb teszt-időszakokra alapozhassuk tapasztalatainkat a korlátozott tartományú valószínűségi rendszerek terén ([7]). Jelenleg az egyetlen operatív alkalmazható megoldást a PEARP rendszer tagjainak leskálázása jelenti, ezért ezt a módszert alkalmazzuk. 2008 február eleje óta naponta készülnek az előrejelzések, a rendszer kvázi-operatív státuszban van, fejlesztése folyamatos a kísérletek eredményeinek megfelelően.

## A saját eredmények pontokba szedett összefoglalása

A doktori dolgozat legfontosabb eredményei a következőkben foglalhatók össze.

*Rövidtávú ensemble előrejelző rendszerekre vonatkozó általános eredmény (3. Fejezet)*

1. Az ALADIN modellre épülő, korlátozott tartományú ensemble rendszerünkre vonatkozóan megmutattam, hogy a kezdeti feltételek perturbálása mellett szükség van az oldalsó peremfeltételek perturbálására is, azaz különböző peremfeltételek alkalmazására minden egyes ensemble tag esetében. Ennek hiányában a valószínűségi előrejelző rendszer tagjai közötti különbség, és így az ensemble szórása az idővel nem növekedni, hanem éppen ellenkezőleg, csökkenni fog.

*A globális szinguláris vektorokkal végzett érzékenységi vizsgálatok eredményei (3. Fejezet)*

2. Globális szinguláris vektorokkal végzett kísérleteim megmutatták, hogy a szinguláris vektorok számításakor alkalmazott optimalizálási tarto-

mány alkalmas megválasztásával lehetségessé válik a globális ensemble rendszer optimalizálása Közép-Európa (azon belül is Magyarország) térségére.

3. Megmutattam továbbá, hogy az ensemble szórása tovább növelhető, illetve a verifikációs eredmények tovább javíthatók, amennyiben a PEARP rendszerben alkalmazott 12 órás optimalizálási időt 24 órára növeljük.
4. A globális és korlátos tartományú modellek eredményeit összehasonlítva megállapítottam, hogy csupán a dinamikai leskálázás alkalmazásával igen nehéz jelentősen jobb eredményeket elérni a korlátos tartományú modellel a globális modellhez képest. Megjegyeztem azonban, hogy az ún. "double penalty" probléma miatt az összehasonlítás eredményeit körültekintően kell kezelni.

*Korlátos tartományú szinguláris vektorokkal végzett kísérletek eredményei (5. Fejezet)*

5. Kísérleteket végeztem az ALADIN modellel számított szinguláris vektorokkal különböző horizontális felbontás (22 km és 44 km), valamint optimalizálási idő (12 óra és 24 óra) alkalmazása mellett. Megállapítottam, hogy a szinguláris vektorok számítása során alkalmazott horizontális felbontás nincs jelentős hatással a szinguláris vektorok szerkezetére, azonban befolyásolja a szinguláris értékek nagyságát (finomabb horizontális felbontás nagyobb szinguláris értékeket eredményez).
6. Az optimalizációs idő növelése megváltoztatja a szinguláris vektorok pozícióját mind a kezdeti, mind pedig a végállapotban. Megmutattam továbbá, hogy 24 órás optimalizálási idő mellett a szinguláris vektorok lényegesen nagyobb területet fednek le az optimalizálás végén, mint a 12 órás optimalizálási idővel számított társaik.

*A kvázi-operatív rendszerre vonatkozó eredmények (4. Fejezet)*

7. A kvázi-operatív rendszer rendszer verifikációs eredményeit elemezve azt tapasztaltam, hogy jobb eredmények adódnak a magasabb szintekre, melynek okát a PEARP rendszerben alkalmazott perturbációk alapvető jellemzőiben látom.

## Következtetések

A doktori dolgozat eredményei alapján az alábbi következtetések fogalmazhatók meg. A globális szinguláris vektorok számításakor alkalmazott optimalizálási tartomány, illetve optimalizálási idő alkalmas megválasztásával lehetséges a globális ensemble rendszer optimalizálása Közép-Európa (azon belül is Magyarország) térségére. További javulást vártunk a korlátos tartományú modellel végzett dinamikai leskálázástól, azonban azt tapasztaltam, hogy csupán a dinamikai leskálázás alkalmazásával igen nehéz jelentősen jobb eredményeket elérni a korlátos tartományú modellel a globális modellhez képest. Mindezekből azt a következtetést vontam le, hogy szükség van helyi perturbációk származtatására a korlátos tartományú modellel annak érdekében, hogy figyelembe tudjuk venni a kis skálájú bizonytalanságokat is.

A kvázi-operatív rendszer verifikációs eredményeit elemezve megállapítottam, hogy jobb eredmények érhetők el a magasabb szintekre vonatkozóan. Éppen ezért a jövőben szükségesnek találom felszíni perturbációk alkalmazását az operatív rendszerben.

## Hivatkozások

- [1] R. Buizza, J. Tribbia, F. Molteni, and T. Palmer. Computation of optimal unstable structures for a numerical weather prediction model. *Tellus*, 45A:388–407, 1993.
- [2] E. Hágel. Latest results of the LAMEPS experiments. *ALADIN Newsletter*, 27:105–113, 2005.
- [3] E. Hágel. Singular vector experiments at the Hungarian Meteorological Service. *ALADIN Newsletter*, 33:52–59, 2008.
- [4] E. Hágel and A. Horányi. The development of a limited area ensemble prediction system at the Hungarian Meteorological Service: sensitivity experiments using global singular vectors, preliminary results. *Időjárás*, 110(3-4):229–252, 2006.

- [5] E. Hágel and A. Horányi. Sensitivity experiments of global singular vectors at the Hungarian Meteorological Service. *ALADIN Newsletter*, 29:50–57, 2006.
- [6] E. Hágel and A. Horányi. The ARPEGE/ALADIN limited area ensemble prediction system: the impact of global targeted singular vectors. *Meteorologische Zeitschrift*, 16(6):653–663, 2007.
- [7] E. Hágel and M. Mile. The limited area ensemble prediction system of the Hungarian Meteorological Service. *ALADIN Newsletter*, 35, 2009. To appear.
- [8] E. Hágel and G. Szépszó. Preliminary results of lameps experiments at the Hungarian Meteorological Service. *ALADIN Newsletter*, 26:44–52, 2004.
- [9] B. Szintai and I. Ihász. The dynamical downscaling of ECMWF EPS products with the ALADIN mesoscale limited area model: Preliminary evaluation. *Időjárás*, 110(3-4):253–277, 2006.